

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMILA CEREJA DE PAULA

ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA, DIRETA E GLOBAL PARA O
MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ UTILIZANDO DADOS DE SUPERFÍCIE

Macaé, julho de 2020

CAMILA CEREJA DE PAULA

ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA, DIRETA E GLOBAL PARA O
MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ UTILIZANDO DADOS DE SUPERFÍCIE

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientador: D.Sc. José Ricardo Siqueira

Macaé, julho de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO CAMPUS MACAÉ

551.518098153

P324e
2020

Paula, Camila Cereja de

Estimativas da radiação solar difusa, direta e global para o município de Macaé-RJ utilizando dados de superfície / Camila Cereja de Paula. --- Macaé: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Meteorologia, 2020.

38 f. : il.

Monografia (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada)

Orientador: José Ricardo Siqueira.

Bibliografia: f. 37-38

1. Radiação solar global 2. Radiação solar direta 3. Radiação solar difusa 4. Transmitância I. Título.

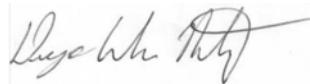
CAMILA CEREJA DE PAULA

ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA, DIRETA E GLOBAL PARA O
MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ UTILIZANDO DADOS DE SUPERFÍCIE.

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 28 de julho de 2020.

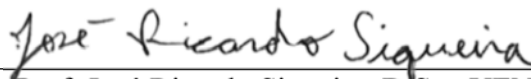
BANCA EXAMINADORA



Prof. Diego Cunha Malagueta, D.Sc., UFRJ



Prof. Nivaldo Silveira Ferreira, D.Sc., UENF



Prof. José Ricardo Siqueira, D.Sc., UENF
(Orientador)

Aos meus pais, mestres,
marido e amigos, com
carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e à Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade.

À professora Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, pela dedicação com o curso e pelo conhecimento passado.

Ao meu orientador, professor José Ricardo Siqueira, pela grande contribuição, paciência e compreensão em momentos tão difíceis.

À professora Eliane Barbosa Santos, por ter apresentado e ensinado o processamento de dados com o Software utilizado neste trabalho.

Aos colegas de turma, que agregaram conhecimento nas mais diversas áreas.

Aos demais professores do curso, pelo conhecimento adquirido, por disponibilizarem seu tempo e contribuírem com a minha formação.

Ao meu marido e à minha família, que me incentivaram e acreditaram em mim.

RESUMO

No presente trabalho foram estimadas e analisadas as distribuições anuais, mensais e sazonais da radiação solar global (RGL), da radiação solar direta (RDR), da radiação solar difusa (RDF) e da transmitância média diária para o município de Macaé no período de 2016 a 2018. Para tanto, foram utilizados dados de superfície disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia (LAMET) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), e expressões físicas da literatura. Os resultados mostraram uma grande variabilidade nos valores das irradiâncias devido às diferentes condições atmosféricas favorecidas pela passagem de sistemas meteorológicos sobre o município. No ano de 2017, observaram-se médias mensais elevadas para a RGL (25,5 MJ/(m².dia)) e a RDR (23,4 MJ/(m².dia)), sendo ambas registradas em fevereiro. Já a maior média de RDF foi observada em janeiro de 2018 (9,8 MJ/(m².dia)). As transmitâncias médias nos anos de 2016 e 2018 foram de aproximadamente 0,51, e em 2017 foi de 0,54. Espera-se que os resultados deste trabalho possam servir de referência para futuros estudos da radiação solar sobre a região norte fluminense, também fornecendo dados acadêmicos para o público com interesse em geração de energia sustentável e agricultura no município de Macaé.

Palavras-chave: Radiação Solar Global. Radiação Solar Direta. Radiação Solar Difusa. Transmitância.

ABSTRACT

The annual, seasonal and monthly distributions of the mean daily global solar radiation (RGL), direct solar radiation (RDR), diffuse solar radiation (RDF), and transmittance in Macaé city were estimated and analysed for the period 2016-18. Surface data from the Laboratório de Meteorologia (LAMET) of the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), and physical expressions from the literature, were used. Results showed large variability in the irradiances due to different atmospheric conditions caused by the passing of meteorological systems over Macaé. In 2017, the highest value of the monthly mean RGL was approximately 25.5 MJ/(m².dia), while for RDR we have found 23.4 MJ/(m².dia), being both values found in February. The highest mean value of RDF was found in January of 2018 (9.8 MJ/(m².day)). The mean transmittance found in 2016 and 2018 was 0.51, and in 2017 we have found 0.54. The authors hope results of this work may be a reference for future studies of solar radiation in northern Rio de Janeiro state, also providing academic data to the public with an interest in renewable energy sources and agriculture in Macaé city.

Keywords: Global Solar Radiation. Direct Solar Radiation. Diffuse Solar Radiation. Transmittance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das componentes constituintes da radiação global incidente numa superfície.....	16
Figura 2 - Mapa da distribuição do total diário da irradiação global horizontal	17
Figura 3 – Variação anual da insolação média diária (MJ/(m ² .dia)) em Macaé/RJ	18
Figura 4 – Variação anual da irradiância média diária (MJ/(m ² .dia)) em função do dia Juliano em Macaé/RJ	19
Figura 5 – Modelo de Estação Solarimétrica	20
Figura 6 – Variabilidade anual da radiação solar global nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ.....	25
Figura 7 – Variabilidade sazonal da radiação global nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	26
Figura 8 – Variabilidade mensal da radiação global nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	27
Figura 9 – Variabilidade anual da radiação solar direta nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ	28
Figura 10 – Variabilidade sazonal da radiação solar direta nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	29
Figura 11 – Variabilidade mensal da radiação direta nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.....	30
Figura 12 – Variabilidade anual da radiação solar difusa nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ	31
Figura 13– Variabilidade sazonal da radiação difusa nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	32
Figura 14 – Variabilidade mensal da radiação difusa nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	33

Figura 15 - Variabilidade anual da transmitância nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ	34
Figura 16 – Variabilidade sazonal da transmitância nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	35
Figura 17 – Variabilidade mensal da transmitância nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos da radiação solar global no município de Macaé/ RJ em MJ/(m ² .dia)	25
Tabela 2 – Parâmetros estatísticos da radiação solar direta no município de Macaé/ RJ em MJ/(m ² .dia)	29
Tabela 3 – Parâmetros estatísticos da radiação solar difusa no município de Macaé/ RJ em MJ/(m ² .dia)	32
Tabela 4 – Parâmetros estatísticos da transmitância no município de Macaé/ RJ em MJ/(m ² .dia).....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAMET	Laboratório de Meteorologia
PR	Paraná
PUC	Pontifícia Universidade Católica
RDF	Radiação Solar Difusa
RDR	Radiação Solar Direta
RGL	Radiação Solar Global
RJ	Rio de Janeiro
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
3. METODOLOGIA	20
3.1 DADOS.....	20
3.2 METODOLOGIA	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO MUNICÍPIO DE MACAÉ	24
4.2 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ	27
4.3 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ	30
4.4 VARIABILIDADE DA TRANSMITÂNCIA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ....	33
5. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia primária na Terra. O conhecimento de sua disponibilidade, intensidade, distribuição territorial e variabilidade temporal são de extrema importância para diversas áreas. Na exploração agropecuária, essa variável física é empregada na caracterização climática, no suporte a estudos radiométricos voltados ao planejamento da irrigação e na previsão de safras agrícolas (MARTINS; PEREIRA, 2011). Além disso, com o crescimento da necessidade de desenvolvimento de fontes de geração de energias renováveis, o conhecimento da disponibilidade de energia solar na superfície é essencial. Com isso é possível incentivar o investimento em energia solar em busca de reduzir uso de usinas hidrelétricas e termelétricas que geram impactos socioambientais severos e exigem grande aporte de recursos naturais (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Ao atravessar a atmosfera, a irradiância solar interage com os componentes atmosféricos e passa por processos de reflexão e absorção. Portanto, apenas uma fração da irradiância chega efetivamente à superfície terrestre, sendo esta parcela denominada de irradiância global (BERUSKI, 2015). Apesar da importância do estudo da radiação global, a variação da radiação difusa (refletida pela atmosfera em direção à superfície terrestre) também é relevante. Um exemplo disto é o fato de que o aumento da parcela difusa da radiação promove maior uniformidade de radiação no interior de estufas, com consequente aumento na eficiência da interceptação de radiação e no seu uso (CARON et al., 2014).

Embora seja de extrema importância o alcance de informações sobre a disponibilidade de energia solar na superfície, existem limitações na obtenção desses dados, já que a estimativa mais precisa do potencial energético solar para um local específico é verificada com a instalação de piranômetros in loco (MARTINS; PEREIRA, 2011). O elevado custo desses instrumentos traz grande dificuldade para a coleta de dados de radiação. Além disso, a quantificação desses dados exige o uso de registradores ou sistemas de aquisição de dados, elevando ainda mais o custo dessas informações (BERUSKI, 2015).

Recentemente, a comunidade científica tem se empenhado em aumentar a quantidade de informações cientificamente confiáveis sobre o potencial energético em diferentes regiões do Brasil. Como resultado dessas pesquisas, surgiram mapeamentos do potencial solar com

diversas resoluções espaciais (MARTINS; PEREIRA, 2011). Alguns exemplos são o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) e o Atlas Solarimético do Brasil: Banco de dados terrestres (TIBA *et al.*, 2000).

O município de Macaé, localizado na mesorregião norte-fluminense, abriga a estação solarimétrica da Pontifícia Universidade Católica (PUC) que foi instalada no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) em 2014. Santos (2018) realizou o primeiro estudo sobre a radiação solar em Macaé utilizando dados dessa estação. O autor observou valores expressivos de irradiância solar global média diária ao longo do ano de 2015, apesar das grandes flutuações temporais associadas às condições de tempo e clima do município.

Os objetivos deste trabalho são estimar e apresentar as distribuições anuais, sazonais e mensais da radiação solar global, direta, difusa e da transmitância sobre o município de Macaé. Os resultados deste trabalho poderão ser muito úteis para o conhecimento do potencial solar do município, favorecendo um melhor planejamento agrícola e energético na região norte fluminense.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A coleta dos dados de radiação solar por estações meteorológicas apresenta grande dificuldade devida ao alto custo dos instrumentos (SOUZA *et al.*, 2011), bem como à necessidade de um sistema de aquisição de dados e de pessoal habilitado. O número de estações meteorológicas que registram esses dados é, ainda, muito pequeno frente ao número de estações que monitoram temperatura e precipitação. Esta falta de registros de dados de radiação é um problema persistente em estudos de processos biofísicos em agroecossistemas (BERUSKI, 2015).

Na ausência de dados de radiação, modelos matemáticos são utilizados para estimar a irradiância. A equação de Angström- Prescott é um modelo utilizado para estimar a irradiância global (Q_g) a partir da insolação. Esta equação, que foi idealizada por Angström (1924, apud BERUSKI, 2015) e modificada por Prescott (1940, apud BERUSKI, 2015) tem tido bom desempenho e vem sendo largamente empregada em estudos de radiometria solar.

Beruski (2015) utilizou quatro modelos matemáticos desenvolvidos para estimar a irradiância global na região dos Campos Gerais do Paraná, sendo os mesmos diferenciados entre si pelo grau de complexidade e o número de variáveis de entrada. Os valores encontrados para os quatro modelos foram comparados com os dados diários de irradiância solar global medidos por um piranômetro localizado na Estação Experimental da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, PR. O autor concluiu que todos os métodos de estimativa de Q_g avaliados no estudo apresentam valores muito próximos aos medidos pelo piranômetro. Os quatro modelos apresentaram valores de coeficiente de determinação acima de 90%. O índice de desempenho dos modelos matemáticos foi de 0,980 para o primeiro modelo, 0,979 para o segundo, 0,839 para o terceiro e de 0,942 para o quarto modelo.

A energia proveniente do Sol é uma forma de energia renovável e praticamente inesgotável. A parcela dela que atinge a superfície terrestre corresponde a aproximadamente metade da energia solar que chega ao topo da atmosfera, cerca de 885 milhões de TWh/ano. Esse valor corresponde a mais de 8.000 vezes o valor de energia consumida mundialmente em 2013. Quando comparada com outras fontes renováveis, a solar apresenta maior potencial técnico (TOLMASQUIM, 2016).

Segundo Magarreiro, Freitas e Brito (2016), o ângulo de incidência de uma fração de raios solares é alterado pela atmosfera, em especial pela dispersão e absorção de luz nos gases e partículas atmosféricos. Conseqüentemente, a radiação solar se divide na radiação direta e na radiação difusa (Figura 1). A irradiância solar direta atinge o solo diretamente sem reflexões,

com direção na linha imaginária entre a superfície e o Sol. A componente difusa é atenuada por reflexões em nuvens, poeira, vapor d'água e outros elementos em suspensão atmosférica (PEREIRA et al, 2017).

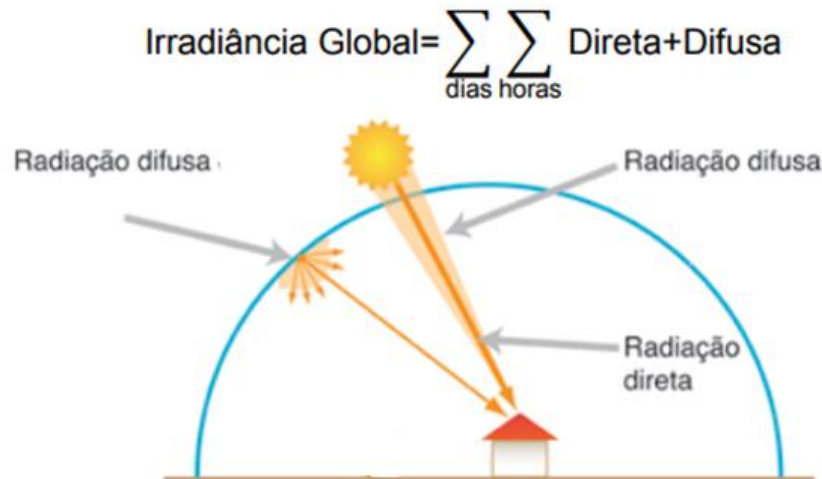


Figura 1 – Representação esquemática das componentes constituintes da radiação global incidente numa superfície.

Fonte: Adaptado de Magarreiro, Freitas e Brito (2016).

A irradiação incidente na superfície da Terra apresenta uma certa variabilidade, sendo a Irradiação Direta Normal a que apresenta maior amplitude de valores ao longo do dia. No longo prazo, estudos apontam que a parcela direta da irradiação é consideravelmente mais variável que a irradiação global. Enquanto 2 a 3 anos de medição local possibilitam estimar a média a longo prazo para a irradiação global com 5% de margem de erro, são necessários mais de 10 anos de medições da irradiação direta para se obter a mesma margem (TOLMASQUIM, 2016). Esta variabilidade retifica a necessidade de se obter dados confiáveis de radiação solar. Uma base de dados de extrema importância nesse sentido é constituída por medidas de irradiância (W/m^2) ou irradiação (Wh/m^2 ou J/m^2) solar “in loco”. O resultado dessas medições tem papel considerável para estudos de climatologia da radiação solar, para a avaliação técnica e econômica de projetos de aproveitamento do recurso energético solar e, mais recentemente, para o desenvolvimento e validação de modelos (PEREIRA *et al.*, 2017).

A radiação que chega à superfície da Terra também pode ser decomposta em planos, para fins de análise. No plano horizontal, a soma das componentes direta e difusa compõe a radiação global. Já num plano inclinado é preciso considerar também uma parcela da radiação que é refletida na superfície e nos elementos próximos. A Irradiação Global Horizontal, que quantifica a radiação que chega em uma superfície plana horizontal, é a parcela de maior relevância para a aplicação fotovoltaica e é composta pela Irradiação Difusa Horizontal e pela

Irradiação Direta Horizontal. Em dias com poucas nuvens, a parcela mais significativa é a direta; já em dias nublados, a parcela de maior importância é a difusa (PEREIRA *et al.*, 2017).

A localização do Brasil, com maior parte de seu território na região entre os trópicos de câncer e de capricórnio onde a incidência dos raios solares é mais perpendicular, confere ao país uma alta incidência de radiação solar em todo o território, inclusive no inverno. A Figura 2 mostra o mapa com a média anual do total diário de irradiação solar incidente no território brasileiro, disponibilizado na 2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para desenvolvê-lo foram utilizados dados meteorológicos da rede Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA), base de dados do INPE e de estações meteorológicas automáticas além de imagens de satélites no período de 1999 a 2015 (PEREIRA *et al.*, 2017). Em qualquer parcela do território brasileiro, a radiação incidente tem valores mais elevados que os valores da maioria dos países da União Europeia, como a Alemanha, a França e a Espanha. Nestes países, o aproveitamento de recursos solares é amplamente difundido, e alguns contam com grande incentivo governamental (PEREIRA *et al.*, 2006). A partir do mapa da Figura 2, é possível observar também que a região norte fluminense apresenta elevados valores de radiação global, variando entre 4750 e 5250 Wh/(m².dia).

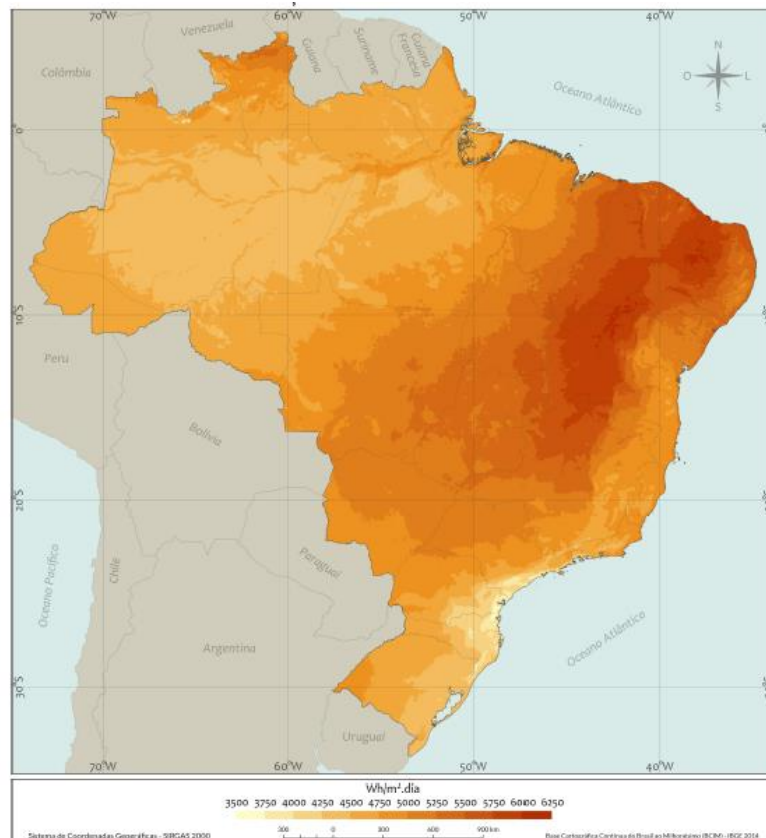


Figura 2 – Mapa da distribuição do total diário da irradiação global horizontal.
Fonte: Pereira *et al.* (2017).

Ferreira (2018) utilizou dados de irradiância global horizontal do ano de 2017 obtidos a partir da estação meteorológica da Ilha do Fundão. Este autor obteve valores médios, mínimos e máximos mensais. Nos meses de inverno, observou-se a menor média de irradiância global horizontal. Já nos meses de verão, foi identificada a maior média. Concluiu-se que a região apresentava valores compatíveis com os apresentados no Atlas Brasileiro de Energia Solar, e que esta localidade possuía um alto potencial de geração de energia solar.

Santos (2018) estimou as distribuições anuais dos principais parâmetros de radiação solar no município de Macaé/RJ no período de janeiro a dezembro de 2015. Utilizando as fórmulas da literatura, o autor concluiu que o ângulo zenital formado entre os raios de luz solar e a vertical do local em estudo apresentava maiores valores próximo ao nascer do sol, entre 80° e 100° . A maior radiação solar foi observada próximo às 12 horas no período do periélio, onde a angulação é 0° e o Sol está mais próximo da Terra. O fotoperíodo, tempo diário de exposição a luz solar, apresentava uma variação anual de aproximadamente 3 horas, sendo no verão igual à 13,3 horas de luz solar, e no inverno 10,7 horas de luz solar.

A Figura 3 mostra os valores de insolação média diária em Macaé, que foram estimadas por Santos (2018). Nota-se uma variação acentuada ao longo do ano, com os extremos identificados nos solstícios, sendo $42,72 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$ no solstício de verão e $22,82 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$ no solstício de inverno. O autor estimou uma amplitude de $20 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$.

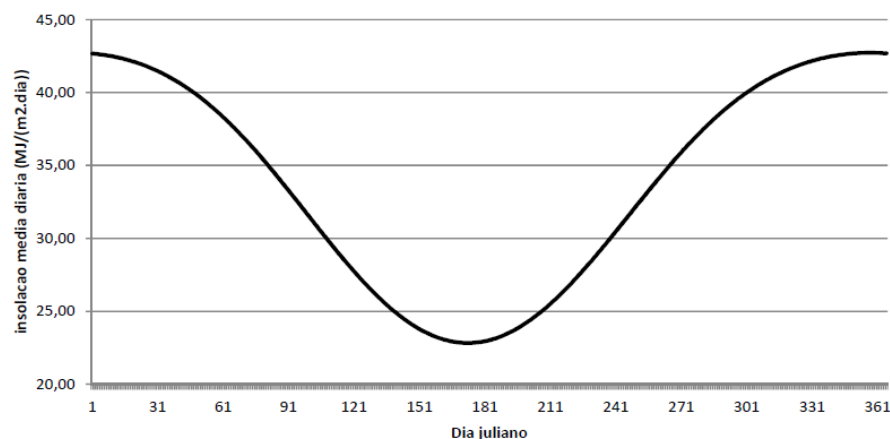


Figura 3 - Variação anual da insolação média diária ($\text{MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$) em Macaé/RJ.

Fonte: Santos (2018).

Santos (2018) também estimou a distribuição anual da irradiância solar global média diária para o município de Macaé durante o ano de 2015. Os dados utilizados foram obtidos a partir da estação solarimétrica localizada no campus da UENF em Macaé/RJ. A Figura 4 mostra os resultados obtidos. Observa-se que o menor valor do ano foi registrado atipicamente no dia 05 de fevereiro, sendo de aproximadamente $8,21 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$. Já o pico de irradiância foi de

cerca de $37,29\text{MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, e o mesmo foi observado no dia 27 de janeiro. O período de inverno apresentou os menores valores de irradiância, sendo a média dos meses de junho e julho igual a cerca de $19,71\text{MJ}/\text{m}^2\text{dia}$. A amplitude anual observada foi de aproximadamente $27\text{MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$ (SANTOS, 2018).

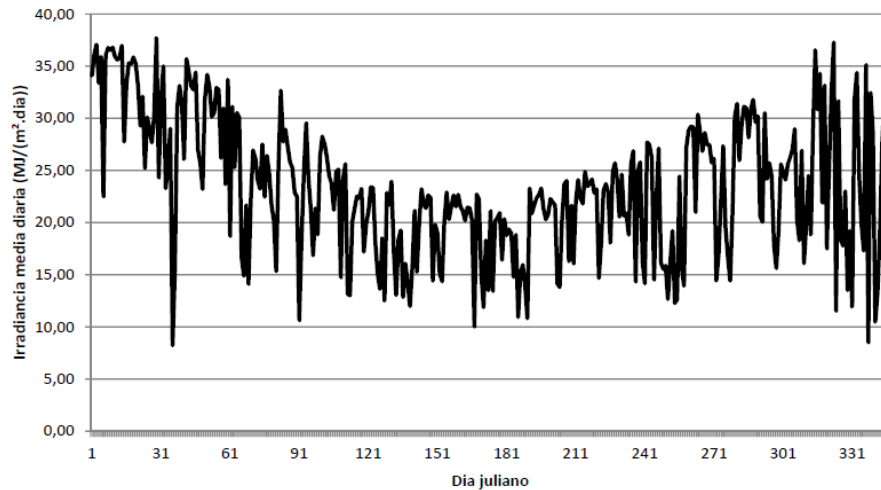


Figura 4 - Variação anual da irradiância média diária ($\text{MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$) em função do dia Juliano em Macaé/RJ. Fonte: Santos (2018).

A partir da comparação das Figuras 3 e 4 conclui-se que a flutuação anual da radiação média diária e da insolação é semelhante. Além disso, observa-se que os valores da insolação são maiores do que os valores da radiação em todos os dias do ano. Esse comportamento é esperado já que a os valores de insolação dizem respeito a energia que chega no topo da atmosfera, antes de sofrer perdas ao interagir com a mesma.

3. METODOLOGIA

3.1 DADOS

No presente trabalho foram utilizados dados de irradiância solar global, difusa e direta sobre o município de Macaé no período de 2016 a 2018. Estes dados são gerados pela estação solarimétrica do campus da UENF em Macaé, e os mesmos foram disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia da UENF (LAMET). A estação solarimétrica é ilustrada na Figura 5, sendo a mesma composta por instrumentos meteorológicos e de medição da radiação solar.



Figura 5 – Modelo de Estação Solarimétrica
Fonte: Santos (2018).

A estação solarimétrica coleta informações a cada 10 minutos. Além dos dados de radiação, a estação também registra valores de pressão atmosférica, temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade e direção do vento, e precipitação. O instrumento utilizado para medir a radiação solar global (RGL) é piranômetro. Já a radiação solar direta (RDR) é medida

pelo pirheliômetro, enquanto a radiação solar difusa (RDF) é medida pela combinação do piranômetro com o rastreador solar e a esfera de sombreamento.

3.2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em três etapas. Na primeira etapa, foi realizada a leitura e o processamento dos dados de radiação solar global, direta e difusa. Para tanto utilizou-se o software RStudio (versão gratuita), que oferece um ambiente computacional especializado em manipulação, análise e visualização gráfica de dados. O RStudio é um projeto colaborativo com diversos contribuintes, escrito inicialmente por Robert Gentleman e Ross, do departamento de estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia. A partir da leitura e da implementação de rotinas, foi possível calcular o percentual de falhas e fazer o levantamento dos dados disponíveis, sendo 61% em 2016, 77% em 2017, e 90% em 2018. Também foi possível calcular parâmetros estatísticos como médias, amplitude, e máximos e mínimos de radiação solar. As fórmulas utilizadas são apresentadas a seguir:

- MÉDIA DIÁRIA DA GRANDEZA EM ESTUDO

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Onde:

x_1, x_2, x_3 e x_n = valores de RGL, RDR ou RDF registrados na estação solarimétrica, a cada 10 minutos;

n = número de registros no dia.

- AMPLITUDE

$$A = \bar{x}_{MÁX} - \bar{x}_{MÍN} \quad (2)$$

Onde:

$\bar{x}_{MÁX}$ = média diária máxima;

$\bar{x}_{MÍN}$ = média diária mínima.

- PERCENTUAL DE DADOS DISPONÍVEIS

$$P = \frac{N}{365} \quad (3)$$

Onde:

N = número de \bar{x} em cada ano.

Na segunda etapa do trabalho, foi realizada a decomposição dos dados em períodos conforme mostrada no Quadro 1. Os dados foram apresentados graficamente ao longo de cada ano, por estação do ano e por mês. Para o período sazonal, foram considerados os meses de janeiro, fevereiro e dezembro para o verão, março, abril e maio para o outono, junho, julho e agosto para o inverno, e setembro, outubro e novembro para a primavera.

Quadro 1 – Decomposição dos períodos de estudo.

Irradiação	Período
RGL	Anual
	Sazonal
	Mensal
RDR	Anual
	Sazonal
	Mensal
RDF	Anual
	Sazonal
	Mensal

Na terceira etapa, foram estimadas e analisadas as distribuições para os mesmos períodos acima da transmitância média diária, para o município de Macaé. A transmitância foi obtida dividindo os valores de RDG, obtidos pela estação solarimétrica, pelos valores de irradiância solar extraterrestre.

Para o cálculo da irradiância solar extraterrestre, que é definida como a radiação solar emitida pelo sol que chega até o topo da atmosfera, foi utilizada a seguinte expressão física disponível na literatura (LIOU, 2002):

$$Q_d = \frac{S_0}{\pi} \cdot \left(\frac{d_m}{d}\right)^2 \cdot (\text{sen}\phi \cdot \text{sen}\delta \cdot H + \text{cos}\phi \cdot \text{cos}\delta \cdot \text{sen}H) \quad (4)$$

Onde:

S_0 = Constante solar (=1369 W/m²)

\varnothing = Latitude

δ = Ângulo de declinação

H = Módulo do ângulo horário

$\frac{d_m}{d}$ = Distância média / distância

Para se obter a irradiância em MJ/(m².dia) foi utilizado o seguinte fator de conversão:

$$\frac{MJ}{m^2.dia} = 0.0864 \frac{W}{m^2} \quad (5)$$

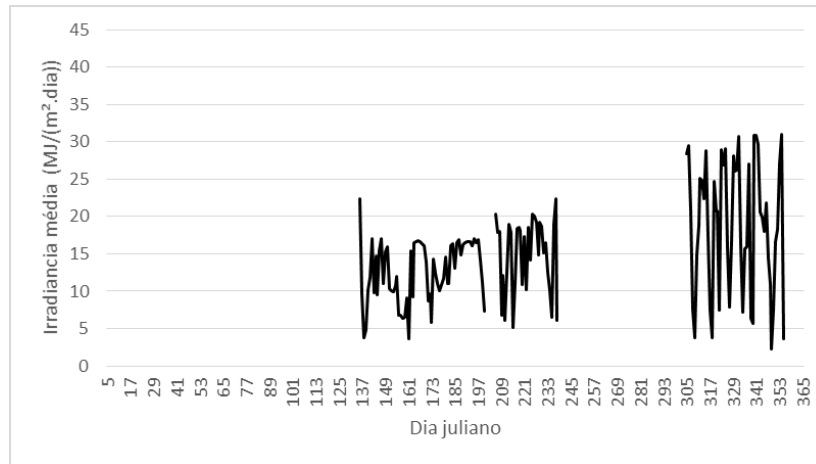
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO MUNICÍPIO DE MACAÉ

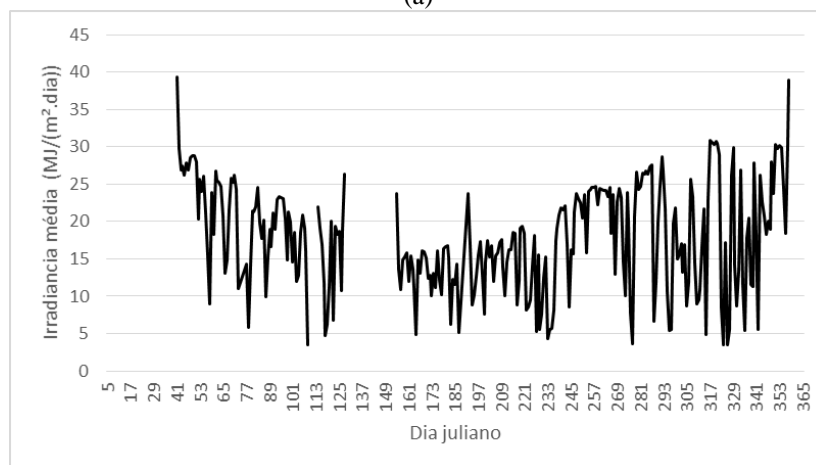
A variação da RGL nos anos de 2016 a 2018 em Macaé é exibida na Figura 6, enquanto os parâmetros estatísticos da RGL estimados para este mesmo período são apresentados na Tabela 1. Para o ano de 2016 (Figura 6-a), são apresentados dados a partir do dia 16 de maio devido à ausência de dados anteriores para este ano. Observa-se no período de 16 de maio a 10 de junho que a RGL varia entre 3,6 e 22,4 MJ/(m².dia). Já entre o dia primeiro de novembro e o dia 21 de dezembro, a variabilidade é 53% maior, com RGL de 2,2 MJ/(m².dia) em 15 de dezembro, atingindo 31 MJ/(m².dia) no dia 20 do mesmo mês. Isto ocorreu possivelmente devido à combinação de dois fatores: a predominância de chuvas abaixo da média histórica em resposta à ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), esperados para o período (ALVARENGA, 2012), bem como à formação de regiões de convergência de umidade que contribuiriam para a ocorrência de extremos de precipitação (CPTEC,2017a). O valor de RGL referente ao dia 15 de dezembro desse ano foi o menor de todo o período de estudo, sendo 86% menor do que a média de 2016.

Para o ano de 2017 (Figura 6-b), o primeiro registro é do dia 10 de fevereiro. Observam-se maiores valores de RGL para os meses de verão, e valores menores para os meses de inverno. Os dias 2 de fevereiro e 24 de dezembro se destacam por apresentarem os maiores valores e amplitudes, totalizando 39 MJ/(m².dia). Já a menor RGL foi registrada no dia 19 de abril, totalizando 3,4 MJ/(m².dia). Pode-se observar na Tabela 1 que o ano de 2017 apresentou maior amplitude de RGL, 35,85 MJ/(m².dia), a maior média de RGL entre os anos (18,02 MJ/(m².dia)), e o maior valor de RGL, totalizando 39,3 MJ/(m².dia) no dia 10 de fevereiro. Esses valores elevados podem ter relação com o padrão de bloqueio atmosférico, discutido por Ribeiro (2011), que colaborou para retardar o início da estação chuvosa e da estiagem decorrente do fenômeno La Niña a partir de outubro de 2017 (CPTEC, 2017b).

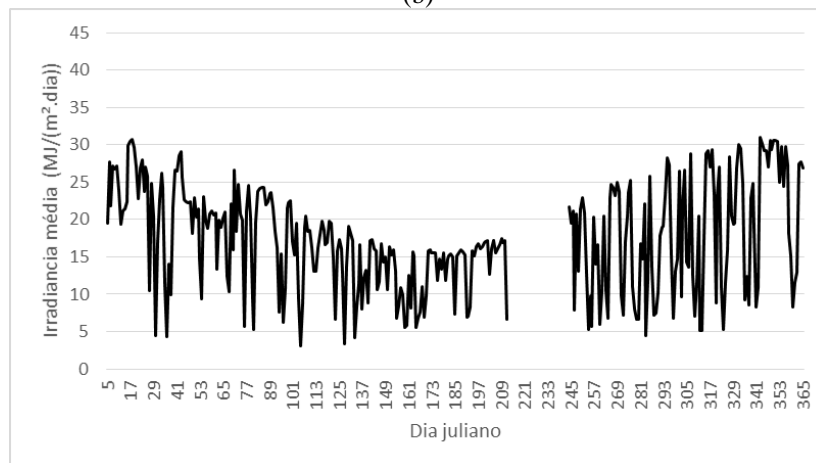
Para o ano de 2018 (Figura 6-c), destacam-se as médias 4,4 e 4,3 MJ/(m².dia) nos dias 30 de janeiro e 2 de fevereiro, respectivamente, como valores que podem ser considerados baixos para o período. Estes valores podem estar relacionados às condições climáticas da região que estimulam a formação de nuvens que, dificultam a passagem da radiação solar global especialmente durante o verão.



(a)



(b)



(c)

Figura 6 - Variabilidade anual da radiação solar global nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos da radiação solar global no município de Macaé/ RJ em MJ/(m².dia)

Período	Mínimo	Média	Máximo	Amplitude
2016	2,21	15,30	30,99	28,79
2017	3,44	18,02	39,29	35,85
2018	3,12	17,50	30,97	27,85
Total	2,21	17,26	39,29	37,09

A Figura 7 mostra as médias sazonais da RGL para os anos de 2016, 2017 e 2018. Fica evidente para o verão que a média é mais elevada nos anos de 2017 e 2018, com valores acima de 20 MJ/(m².dia). Já no verão de 2016, a média foi de 17,8 MJ/(m².dia) devido à ausência de dados de janeiro e fevereiro deste ano, sendo que nesses meses geralmente são observadas médias mais elevadas devido à sazonalidade da radiação solar. A média no inverno dos três anos foi cerca de 36% inferior aos valores registrados no verão, em torno de 13,5 MJ/(m².dia). O outono e a primavera foram as estações com maior variabilidade, com RGL 10% menores em 2018 quando comparados com o ano anterior. Já no inverno e no verão de 2018, a RGL foi 5% menor que as mesmas estações do ano de 2017. No inverno foram observados os menores valores devido à sazonalidade.

Ao comparar os resultados deste trabalho com os obtidos por Santos (2018), nota-se que a média anual de RGL em 2015 foi de 23,43 MJ/(m².dia), 36% maior do que a média do período 2016-2017. Já RGL máxima naquele ano foi de 37,68 MJ/(m².dia), 4% menor e a RGL mínima em 2015 foi de 8,21 MJ/(m².dia), quase 3 vezes maior do que a mínima do período em estudo.

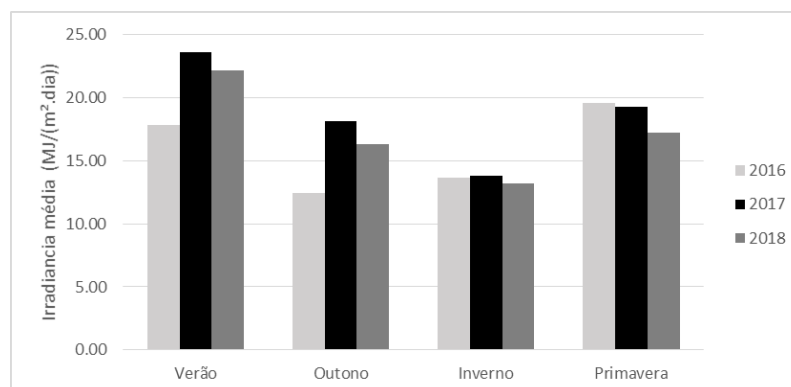


Figura 7 – Variabilidade sazonal da radiação global nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

As médias mensais de RGL são apresentadas na Figura 8. Destaca-se o mês fevereiro de 2017 como o mês com a maior média do período de estudo, 25,5 MJ/(m².dia). Já no mês de junho são observados os menores valores, em torno de 13,3 MJ/(m².dia). No mês de setembro, a RGL tem a maior variação percentual, sendo 23% menor em 2018 em comparação à 2017. Já o mês de março revela a menor variação percentual, sendo de 1% entre 2018 e 2019.

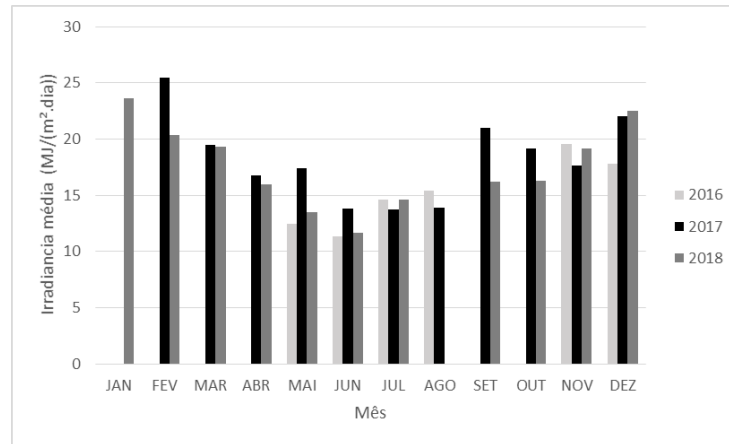


Figura 8 – Variabilidade mensal da radiação global nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

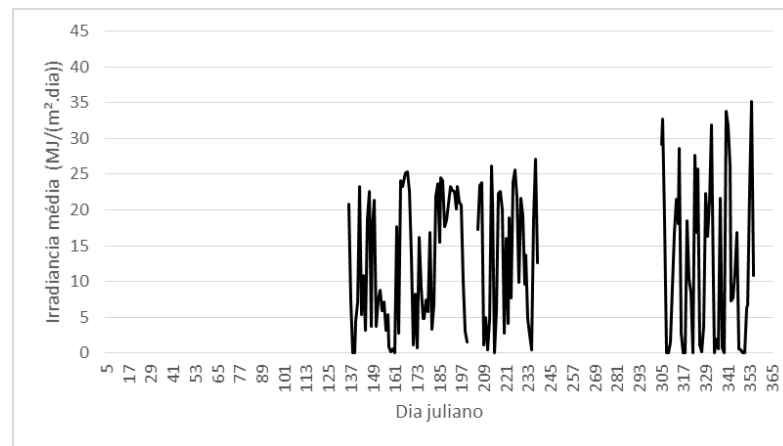
4.2 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ

A variabilidade anual da RDR em Macaé nos anos de 2016 a 2018 é apresentada na Figura 9, e os parâmetros estatísticos da RDR são apresentados para o mesmo período na Tabela 2. Observa-se para o ano de 2016 (Figura 9-a) que a variação de RDR é elevada durante todo o ano, sendo maior nos meses de outubro, novembro e dezembro. Estas atingem a amplitude máxima de 35 MJ/(m².dia) entre os dias 15 e 20 de dezembro (médias diárias de 0 e 35,1 MJ/(m².dia), respectivamente). O menor valor de RDR, assim como o de RGL, foi registrado no dia 15 de dezembro de 2016, e as mesmas condições atmosféricas discutidas na sessão 4.1 foram determinantes para estes valores.

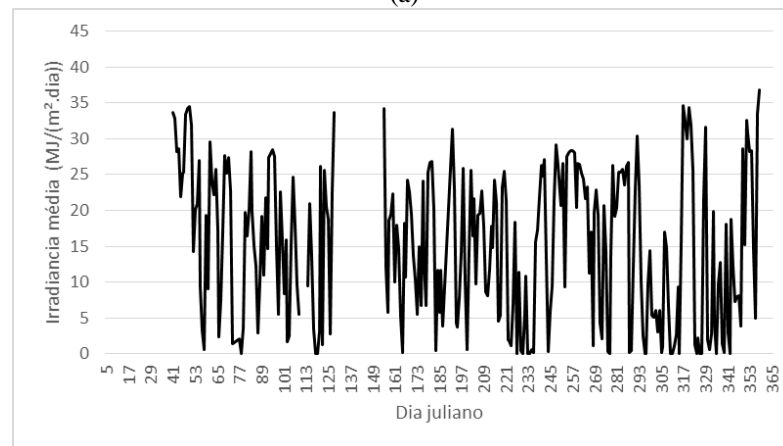
Como em 2016, a grande amplitude nas médias diárias da RDR também é observada durante todo o ano de 2017 (Figura 9-b), demonstrando pouca variabilidade anual. Destacam-se picos durante o inverno, como o valor 34,2 MJ/(m².dia) registrado no dia 4 de junho. Este tipo de comportamento não é observado no estudo da RGL, onde há picos também; porém, estes foram menores.

Pode-se observar na Tabela 2 que o ano de 2017 apresentou maior amplitude da RDR (14 MJ/(m².dia)) e a maior média de RDR entre os anos, sendo 19% maior que 2016 e 8% maior do que 2017. Para o ano de 2018 (Figura 9-c), a variabilidade da RDR apresenta valores suavemente menores nos meses de inverno quando comparados aos meses de verão, o que não é observado no ano de 2017 possivelmente associado à menor quantidade e intensidade das frentes frias no período de inverno (CPTEC, 2017 b). As máximas no inverno estão entre 20 e 25 MJ/(m².dia), enquanto no verão atingem valores maiores do que 30 MJ/(m².dia). Por ser uma parcela da RGL, é esperado que o valor de RDR esteja sempre abaixo do valor de RGL.

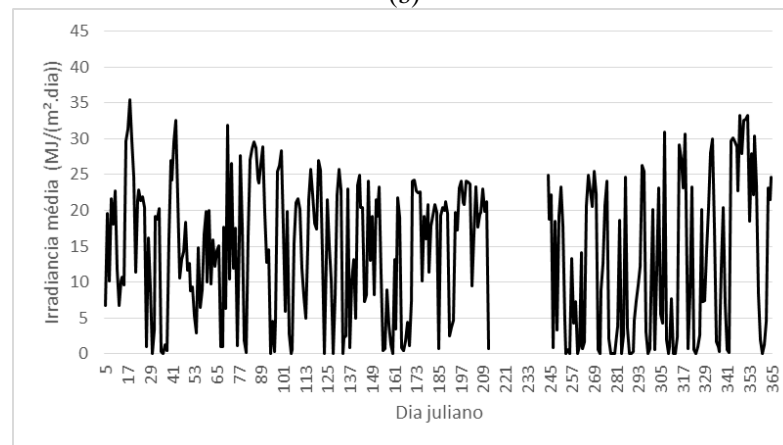
Porém, em 32% dos dias a RDR foi maior que a RGL, o que pode estar relacionado a algum erro na medição pela estação solarimétrica.



(a)



(b)



(c)

Figura 9 – Variabilidade anual da radiação solar direta nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ.

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos da radiação solar direta no município de Macaé/ RJ em MJ/(m².dia).

Período	Mínimo	Média	Máximo	Amplitude
2016	0,0005	12,75	35,14	35,14
2017	0,0042	15,14	36,86	36,85
2018	0,0058	14,06	35,41	35,40
Total	0,0005	14,20	36,86	36,86

A Figura 10 apresenta as médias sazonais da RDR para o período do estudo. Pode-se notar que no verão a RDR é maior nos anos de 2017 e 2018 devido à falta de dados de 2016, com valores entre 16 e 19 MJ/(m².dia). Já nas outras estações do ano são notados valores ligeiramente menores. Diferentemente da RGL, o inverno não se destaca como uma estação com valores tão baixos de RDR. No ano de 2017, por exemplo, a RDR variou 6% entre o outono, o inverno e a primavera, mantendo uma média de 14,57 MJ/(m².dia). A primavera foi a estação com maior variação interanual, sendo a de 2018 cerca de 27% menor que a de 2017. Já o outono foi a estação com a menor variação, sendo de cerca de 2% entre 2017 e 2018.

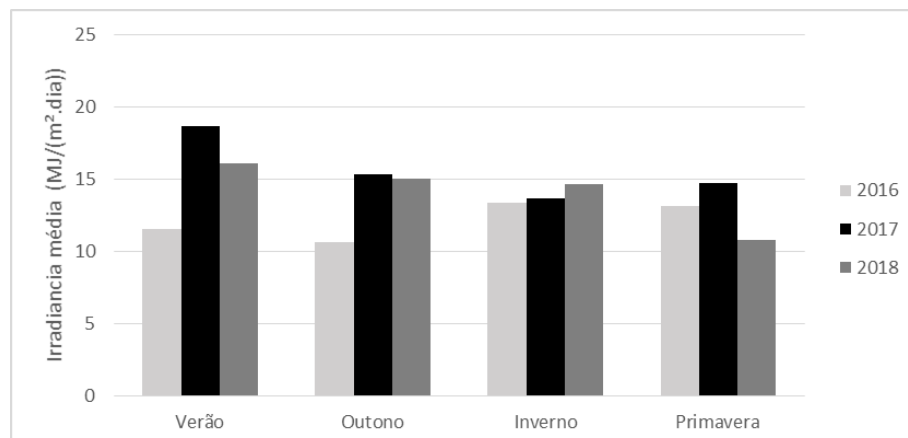


Figura 10 – Variabilidade sazonal da radiação solar direta nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

As médias mensais da RDR são apresentadas na Figura 11. Destaca-se fevereiro de 2017 como o mês com a maior média do período de estudo (23,4 MJ/(m².dia)), sendo 70% maior que o mesmo mês em 2018. Já abril foi o mês com a menor variação interanual da RDR (5%), ocorrida entre 2017 e 2018. No mês de dezembro observa-se uma considerável variação entre os 3 anos, sendo o maior valor observado em 2018 (17,8 MJ/(m².dia)), 16% menor em 2017, e 35% menor em 2016.

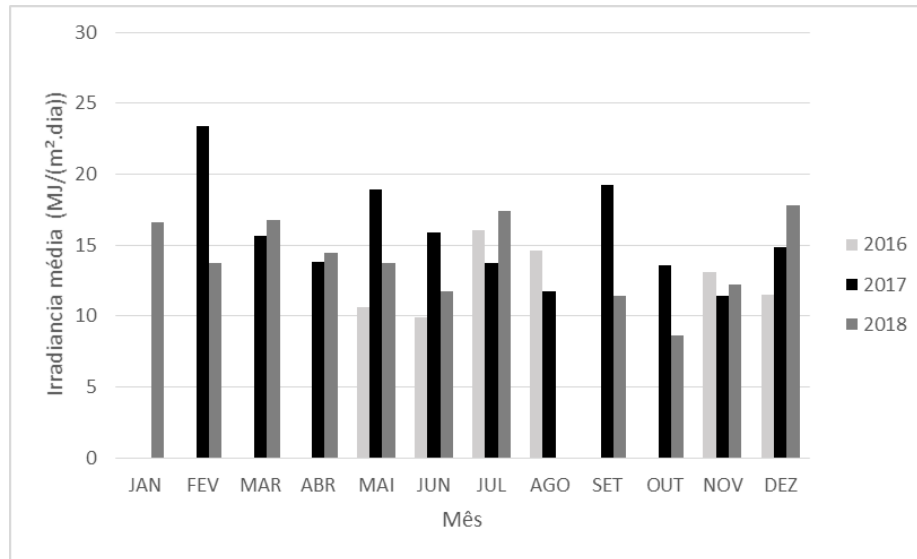


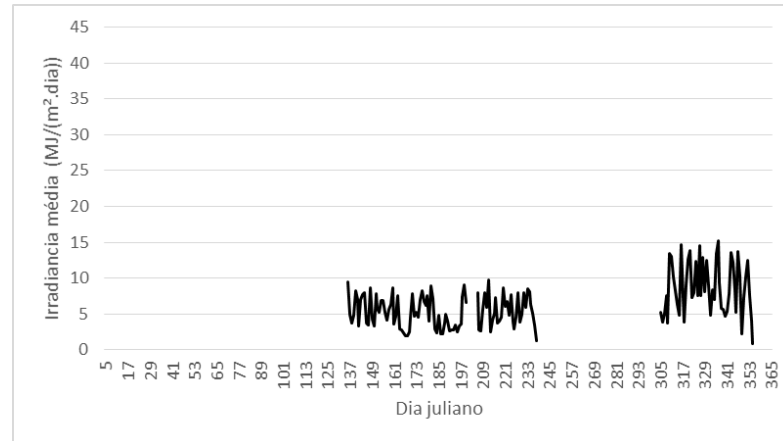
Figura 11 – Variabilidade mensal da radiação direta nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

4.3 VARIABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIFUSA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ

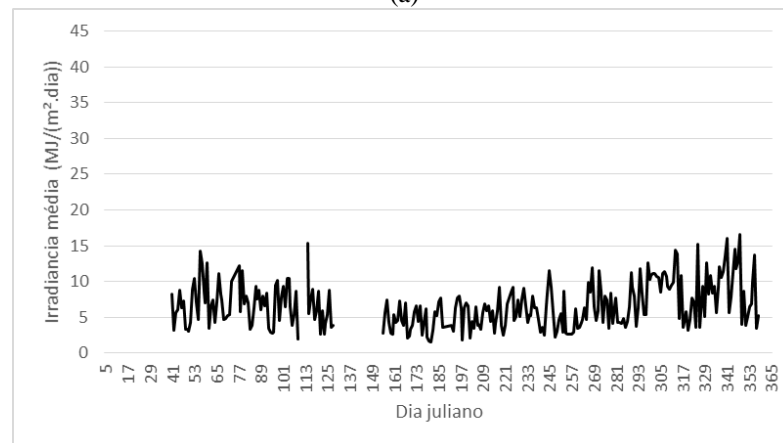
A variação anual da RDF nos anos de 2016 a 2018 em Macaé é apresentada na Figura 12 e os parâmetros estatísticos da RDF são descritos na Tabela 3 para o mesmo período do estudo. Para o ano de 2016 (Figura 12-a), nota-se no primeiro semestre que a RDF varia entre 1,9 MJ/(m².dia) e 9,7 MJ/(m².dia). No mês de dezembro, a RDF varia entre 0,88 MJ/(m².dia) (em 21 de dezembro) e 15,19 MJ/(m².dia) (em 2 de dezembro). Valores maiores da RDF estão associados à alta nebulosidade que atenuam a radiação incidente, conforme já descrito no Capítulo 2. As mesmas condições atmosféricas discutidas na sessão 4.1 pode ser as responsáveis por esses valores, visto que ao passo que a presença de nuvens e precipitação geram menor RGL e RDR, esses fatores acarretam em uma maior RDF. Por outro lado, no verão, por exemplo, haverá mais RGL e RDR e a tendência é que haja também maior RDF devido a maior cobertura de nuvens nesta estação.

Para o ano de 2017 (Figura 12-b), observam-se nos meses de inverno menores valores de radiação, e com menor amplitude. Já os demais meses deste ano apresentaram uma variabilidade mais ampla de valores, destacando-se um máximo de 15,3 MJ/(m².dia) no dia 24 de abril. Isto mostra uma forte atenuação da radiação solar pela atmosfera devido à nebulosidade. Assim como observado nas análises da RGL e da RDF, o ano de 2017 foi o que apresentou maior amplitude dos dados (15 MJ/(m².dia)) e RDR máximo de 16,5 MJ/(m².dia) registrado no dia 14 de dezembro. Já a maior média entre os anos foi observada em 2018 (6,79 MJ/(m².dia)), sendo 2% maior do que a média de 2017 e 6% maior do que a de 2016.

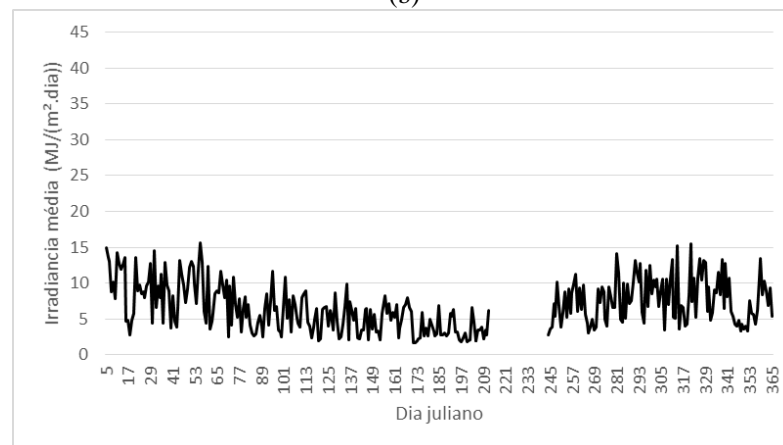
Para o ano de 2018 (Figura 12-c), é possível observar um comportamento similar ao ano de 2017; porém, com menor variação e menores valores nos meses de inverno, e com maior amplitude e maiores valores para os demais meses do ano. No dia 18 de janeiro deste ano, nota-se um valor de 2,7 MJ/(m².dia) associado a um dia de céu claro, com pouca interferência da atmosfera sobre a radiação solar.



(a)



(b)



(c)

Figura 12 - Variabilidade anual da radiação solar difusa nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ.

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos da radiação solar difusa no município de Macaé/ RJ em MJ/(m².dia)

Período	Mínimo	Média	Máximo	Amplitude
2016	0,88	6,40	15,19	14,30
2017	1,49	6,64	16,52	15,02
2018	1,66	6,79	15,65	13,99
Total	0,88	6,66	16,51	15,63

Na Figura 13 são apresentadas as variações sazonais da RDF em Macaé para os anos de 2016 a 2018. Assim como observado na variação da RGL, as médias sazonais da RDF também correspondem a valores menores para o inverno e mais elevados para a primavera e o verão. No ano de 2016, a primavera registrou a maior média entre as estações do período todo, atingindo 8,7 MJ/(m².dia). A primavera foi a estação com maior variação, com RDF 20% menores em 2018 quando comparados com o ano anterior. Já no verão de 2018, a RDF foi 4% maior que no verão de 2017.

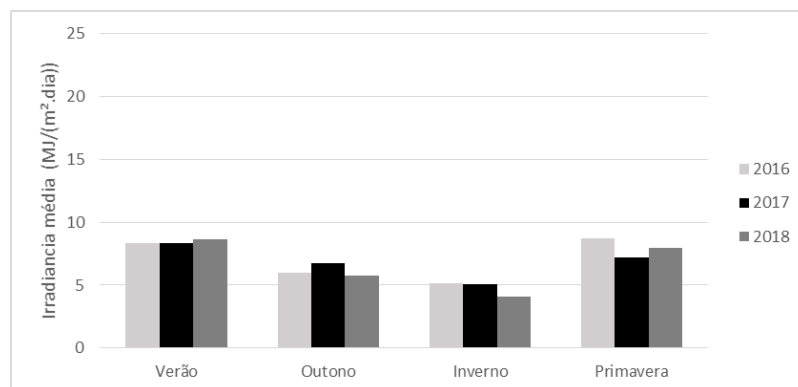


Figura 13 – Variabilidade sazonal da radiação difusa nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

As médias mensais da RDF em Macaé são mostradas na Figura 14. Os menores valores correspondem aos meses de inverno, sendo a menor média mensal de 3,5 MJ/(m².dia) encontrada no mês de julho de 2018. Já os maiores valores são observados nos meses de verão, sendo a maior média de 9,8 MJ/(m².dia) encontrada em janeiro de 2018. Destaca-se dezembro como o mês com maior variação interanual da RDF, sendo o valor em 2017 aproximadamente 29% superior ao de 2016, e 19% superior ao de 2016. Já em dezembro, observa-se a menor variação entre os anos, sendo a maior média (8,7 MJ/(m².dia)) registrada em 2016. Esta foi apenas 4% maior que a registrada em 2016, e 1% maior do que a em 2018.

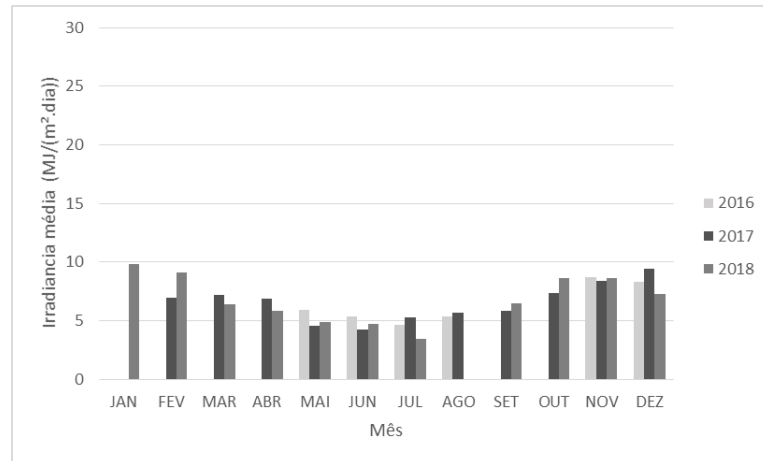


Figura 14 – Variabilidade mensal da radiação difusa nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

4.4 VARIABILIDADE DA TRANSMITÂNCIA NO MUNICÍPIO DE MACAÉ

A Figura 15 mostra a variabilidade da transmitância média diária nos anos de 2016 a 2018, e os parâmetros estatísticos da transmitância são mostrados na Tabela 4 para o mesmo período. Para o ano de 2016 (Figura 15-a), o maior valor observado foi de 0,88 no dia 16 de maio. A amplitude dos dados foi de 0,83 sendo que a maior variação dos valores ocorreu em novembro e dezembro. A menor transmitância média diária registrada em todo o período de estudo ocorreu em 15 de dezembro de 2016, sendo de 0,05, e a mesma foi dez vezes menor que a média deste ano.

A variação anual da transmitância durante o ano de 2017 foi entre 0,1 e 0,7 (Figura 15-b). Destacam-se quatro dias nos quais a transmitância ficou acima de 0,9, atingindo seu valor máximo (1) em 4 de junho, favorecido pelos dias de céu claro típicos do inverno. O ano de 2017 destaca-se com a maior amplitude, a maior transmitância máxima e a maior transmitância média de todo o período do estudo. Por ser diretamente proporcional à RGL, as condições atmosféricas descritas no item 4.1 influenciam da mesma forma a transmitância.

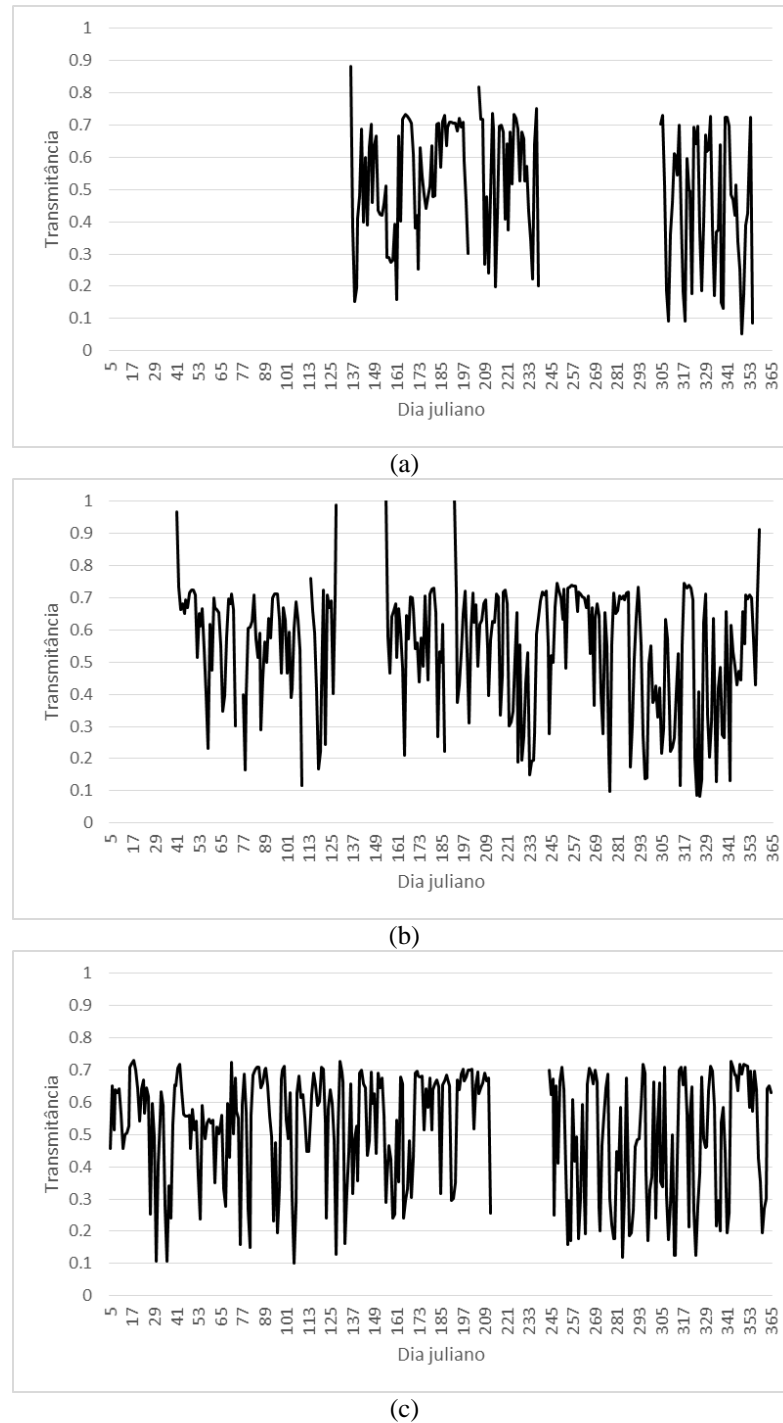


Figura 15 - Variabilidade anual da transmitância nos anos de (a) 2016, (b) 2017 e (c) 2018 em função do dia juliano no município de Macaé/RJ.

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos da transmitância no município de Macaé/ RJ.

Período	Mínimo	Média	Máximo	Amplitude
2016	0,05	0,51	0,88	0,83
2017	0,08	0,57	1,00	0,92
2018	0,10	0,52	0,73	0,63
Total	0,05	0,54	1,00	0,95

Analisando o ano de 2018 (Figura 15-c), nos meses de inverno os valores variaram entre 0,2 e 0,7. No restante do ano, esta variação foi de 0,1 a 0,7. Nota-se para a transmitância uma variabilidade mais forte durante todo o ano comparada à dos anos anteriores provavelmente devido à grande alternância de dias de céu claro e dias de nebulosidade elevada.

A Figura 16 apresenta a variabilidade sazonal da transmitância média diária para os anos de 2016, 2017 e 2018. No verão de 2017 foi registrada a maior média do período (0,56). A maior variabilidade entre os anos ocorreu na primavera, sendo a transmitância no ano de 2018 cerca de 12% inferior à encontrada no ano de 2017. Já no inverno, observa-se a menor variação interanual, sendo de apenas 1% entre 2017 e 2018.

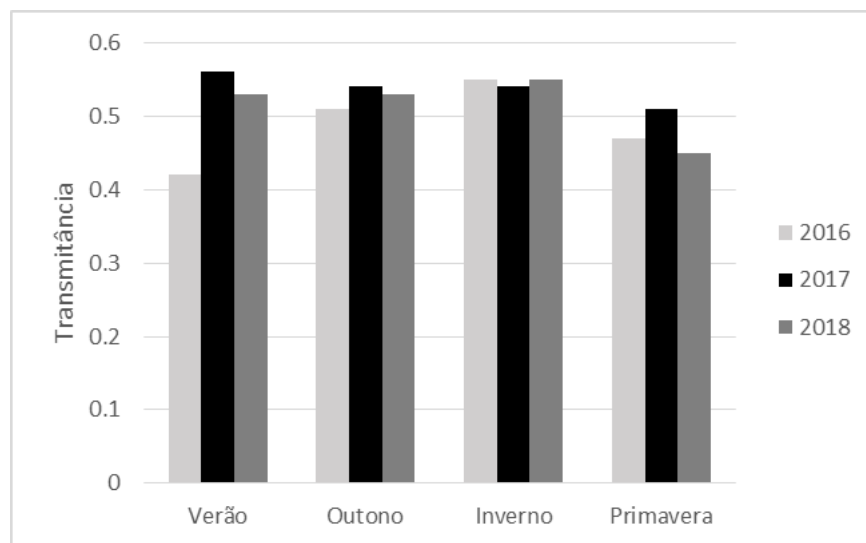


Figura 16 – Variabilidade sazonal da transmitância nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

As transmitâncias médias mensais para os anos de 2016, 2017 e 2018 são apresentadas na Figura 17. Observa-se que os valores variam entre 0,4 e 0,63, sendo menores em dezembro de 2016, e maiores em maio de 2017 (51% maior que em dezembro).

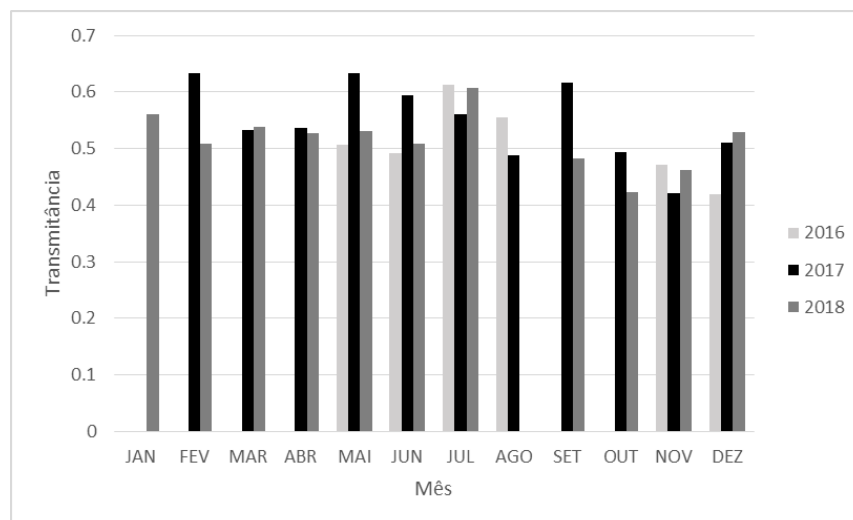


Figura 17 – Variabilidade mensal da transmitância nos anos de 2016, 2017 e 2018 no município de Macaé/RJ.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram estimadas e analisadas as variações anuais, sazonais e mensais da radiação solar global, direta e difusa, e da transmitância global para o município de Macaé no período de 2016 a 2018. Para tanto foram utilizados dados de estação de superfície e expressões físicas da literatura. Foi possível observar forte variação destas grandezas radiométricas durante o período estudado devido à sazonalidade da região norte fluminense e aos sistemas meteorológicos que atuam na região, como o ZCAS e a La Niña.

Analisando a RGL, verificou-se que o valor médio para todo o período foi de aproximadamente $17,3 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, sendo o seu valor mínimo igual a $2,21 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, e o seu valor máximo igual a $39,29 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$. Notou-se que os valores médios para o inverno foram 36% inferiores aos valores encontrados para o verão. Outono e primavera foram as estações do ano com a maior variação interanual, apresentando diferenças percentuais de cerca de 10%. O mês de fevereiro de 2017 foi o mês com a maior RGL, totalizando $25,5 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$.

Para a RDR, observou-se que o valor médio para o período foi de cerca de $14,2 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, sendo o mínimo igual a $0,0005 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, e o máximo igual a $36,86 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$. A primavera foi a estação com a maior variação interanual, sendo a variabilidade identificada no ano de 2018 aproximadamente 27% inferior à estimada para o ano de 2017. Observou-se para o mês de dezembro a maior variação interanual, com o ano de 2018 exibindo o maior valor ($17,8 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$), sendo 16% menor em 2017 e 35% menor em 2016.

Analisando a RDF, estimou-se um valor médio de aproximadamente $16,51 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, sendo o valor mínimo igual a $0,88 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, e o valor máximo igual a $15,63 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$. A primavera apresentou a maior variação interanual da RDF, com RGL 20% menor em 2018 quando comparada à do ano anterior. O mês com maior variação interanual também foi dezembro, sendo o valor no ano de 2018 cerca de 29% superior ao de 2016, e 19% superior ao de 2016.

A transmitância variou de 0,05 a 1 durante todo o período do estudo, com uma média de 0,54. A estação com a maior variabilidade interanual foi a primavera, sendo a transmitância no ano de 2018 cerca de 12% inferior à de 2017. Observou-se a menor variação interanual durante o inverno, sendo de apenas 1% entre os anos de 2017 e 2018.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se as seguintes:

- Análise conjunta da radiação solar e da precipitação medida pela estação solarimétrica;
- Análise estatística de períodos maiores, e com menor percentual de falhas.
- Realização de testes de calibração instrumental, para ajustar os valores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Livia Alves. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, 2012.

BERUSKI, Gustavo Castilho; PEREIRA, André Belmont; SENTELHAS, Paulo Cesar. Desempenho de diferentes modelos de estimativa da radiação solar global em Ponta Grossa, PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 205-213, 2015.

CARON, Braulio Otomar et al. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 257-265, 2014.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Infoclima, Ano 24, Número 1. Boletim de informações climáticas, janeiro de 2017. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>. Acesso em julho de 2020.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Infoclima, Ano 24, Número 10. Boletim de informações climáticas, outubro de 2017. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>. Acesso em julho de 2020.

FERREIRA, Paula Silva. Avaliação do potencial de geração de energia pela medição da radiação solar incidente em superfície na estação meteorológica da Ilha do Fundão-RJ. 2018.

LIU, Kuo-Nan. **An introduction to atmospheric radiation**. Elsevier, 2002.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MAGARREIRO, Clarisse; FREITAS, Sara; BRITO, Miguel Centeno. Radiação e energia solar. **Gazeta de Física**, v. 39, p. 57-59, 2016.

MARTINS, Fernando R.; PEREIRA, Enio B. Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 265-276, 2011.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006.

PEREIRA, E. B. et al. 2ª Edição Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, Brazil. 2017.

R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, Bruno Zanetti; NUNES, André Becker. ONDA DE CALOR ASSOCIADA A BLOQUEIO ATMOSFÉRICO: ESTUDO DE CASO EM PELOTAS-RS. XX Congresso de Iniciação Científica. UFPEL. 2011

SANTOS, Victor Vinícius Silva. Estimativas da radiação solar global e da transmitância global para o município de Macaé-RJ utilizando dados de superfície. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato Sensu) - Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Macaé, 2018.

SOUZA, Adilson P. et al. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.

TIBA, Chigueru et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. **Recife: Editora Universitária da UFPE**, p. 32, 2000.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. **Rio de Janeiro: EPE**, v. 1, n. 1, p. 10, 2016.